

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-196152

(43)Date of publication of application : 14.07.2000

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 10-366803

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 24.12.1998

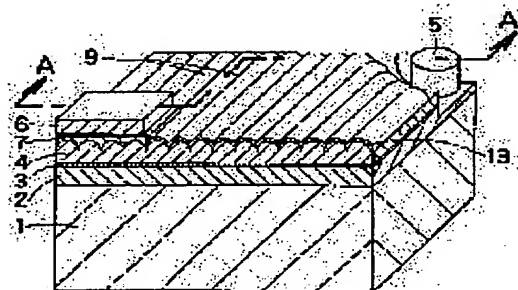
(72)Inventor : OKAZAKI HARUHIKO  
NITTA KOICHI  
NOZAKI CHIHARU

## (54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND MANUFACTURE THEREOF

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To markedly improve a semiconductor light emitting device in external quantum efficiency, by a method wherein a light takeout plane is turned rugged to be improved in light takeout efficiency so as to more efficiently take out light emitted from a light emitting part.

SOLUTION: Projections 9 formed like semicylindrical lenses are provided on the surface of a P-type GaN layer 4. As mentioned above, in a light emitting device where the P-type GaN layer 4 is turned rugged, light obliquely incident on a light takeout plane is capable of passing through the light takeout plane corresponding to an angle which incident light makes with the rugged surface. Even the totally reflected light is repeatedly reflected, and when it is incident on the surface of the rugged part at a normal angle smaller than a critical angle, it is capable of passing through the light takeout plane. As a result, a semiconductor light emitting device can be markedly improved in efficiency to take out light emitted from an active layer 3, that is, in external quantum efficiency.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

06.06.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3469484

[Date of registration]

05.09.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】窒化物系半導体からなる発光部を備えた半導体発光素子であって、

前記発光部から放出される光の外部への取り出し効率が改善されるように光取り出し面に凹凸が設けられていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】前記凹凸は、窒化物系半導体の表面に設けられ、前記凹凸が設けられた前記窒化物系半導体の表面にはさらに透光性電極が設けられていることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】前記半導体発光素子は、平坦な表面を有する窒化物系半導体の上に設けられた透光性電極を備え、前記凹凸は、前記透光性電極の表面に設けられていることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項4】前記半導体発光素子は、平坦な表面を有する窒化物系半導体の上に設けられた透光性電極と、前記透光性電極の上に設けられ透光性を有する光取り出し層と、を備え、

前記凹凸は、前記光取り出し層の表面に設けられていることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項5】前記透光性電極の下の前記窒化物系半導体は、前記透光性電極層との接触面の付近において、ドーパントが高い濃度で導入されていることを特徴とする請求項1～4のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項6】前記透光性電極は、前記窒化物系半導体と接触して設けられた100nm以下の層厚の金属からなる層を有することを特徴とする請求項1～5のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項7】発光部を有する窒化物系半導体を形成する工程と、

前記窒化物系半導体の表面に導電性を高めるドーパントを含有した金属層を堆積する工程と、

前記ドーパントを前記窒化物系半導体に拡散させる工程と、

前記ドーパントを含有した金属層を除去する工程と、

前記窒化物系半導体の表面に電極を形成する工程と、

を備えたことを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項8】前記金属層を堆積する前記工程の前に、前記窒化物系半導体の表面に凹凸を形成する工程をさらに備え、

前記電極は、前記発光部から放出される光に対して透光性を有することを特徴とする請求項7記載の半導体発光素子の製造方法。

【請求項9】前記金属層は、前記窒化物系半導体の表面に堆積されマグネシウム(Mg)を含有した第1の層と、前記第1の層の上に堆積された金(Au)からなる第2の層を含むことを特徴とする請求項7または8に記載の半導体発光素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体発光素子及びその製造方法に関する。より詳しくは、本発明は、GaN、InGa<sub>N</sub>、GaAlNなどの窒化物系半導体層が積層された発光素子であって、素子の動作電圧低減、高輝度化、信頼性の向上などが著しい半導体発光素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化ガリウムに代表される窒化物系半導体を用いることにより、紫外光から青色、緑色の波長帯の発光素子が実用化されつつある。

【0003】ここで、本願において「窒化物系半導体」とは、 $B_xIn_yAl_zGa_{(1-x-y-z)}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq z \leq 1$ ) なる組成式で表されるIII-V族化合物半導体を含み、さらに、V族元素としては、Nに加えてリン(P)や砒素(As)などを含有する混晶も含むものとする。

【0004】窒化物系半導体を用いて発光ダイオード(LED)や半導体レーザなどの発光素子を形成することにより、これまで困難であった発光強度の高い紫外光、青色光、緑色光等の発光が可能となりつつある。また、窒化物系半導体は、結晶成長温度が高く、高温下でも安定した材料であるので電子デバイスへの応用も期待されている。

【0005】以下、窒化物系半導体を用いた半導体発光素子の一例としてLEDを例に挙げて説明する。図10は、従来の窒化物系半導体LEDの断面構造を表す概念図である。すなわち、従来のLEDは、サファイア基板101の上にGaNバッファ層(図示せず)、n型GaN層102、InGa<sub>N</sub>発光層103、p型GaN層104が順次エピタキシャル成長された構成を有する。また、InGa<sub>N</sub>発光層103およびp型GaN層104の一部がエッチング除去されて、n型GaN層102が露出されている。p型GaN層103上にはp側透明電極113が形成され、その一部に電流阻止用の絶縁膜107とp側ボンディング電極106が積層されている。また、n型GaN層102の上にはn側電極105が形成されている。

【0006】このような構造においては、p側電極106を介して注入された電流は、導電性の良い透明電極113で広げられ、p型GaN層103からn型GaN層102に電流が注入されて発光し、その光は透明電極113を透過してチップ外に取り出される。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところが、図10に例示したような従来の窒化物系半導体発光素子は、電極部の接触抵抗が高く、また、光の取り出し効率も悪いという問題を有していた。

【0008】すなわち、GaNのバンドギャップは3.4eVと広いために、電極とオーミック接触をさせることが難しい。その結果として、電極部の接触抵抗が高く

なり、素子の動作電圧が高くなるとともに、発熱も大きいという問題が生ずる。

【0009】また、GaNの屈折率は2.67と大きいために、臨界屈折角が21.9度と極めて小さい。つまり、光出射面の法線からみて、この臨界屈折角よりも大きい角度で入射した光は、LEDチップの外に取り出せない。チップの表面にAR (anti-reflection: 反射防止) 膜を形成しても、この臨界角は変わらない。このために、外部量子効率を改善してより大きな発光パワーを得ることが困難であった。

【0010】ここで、光取り出し面であるp型GaN層の表面を凹凸形状に加工すれば、この問題を改善することができる。しかし、凹凸形状を形成するためにはp型GaN層はある程度の厚さが必要となる。そして、電極との接触抵抗を少しでも低減するために高濃度の不純物をドーピングしつつ、厚いp型GaN層を形成しようとすると、結晶表面の面荒れが発生するという新たな問題が生じていた。

【0011】本発明は、かかる種々の課題の認識に基づいてなされたものである。すなわち、その目的は、電極とのオーミック接触を確保すると共に、光の取り出し効率を劇的に改善することができる半導体発光素子及びその製造方法を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の半導体発光素子は、窒化物系半導体からなる発光部を備えた半導体発光素子であって、前記発光部から放出される光の外部への取り出し効率が改善されるように光取り出し面に凹凸が設けられていることを特徴とし、外部量子効率を大幅に改善することができる。

【0013】ここで、本発明の望ましい実施の形態として、前記凹凸は、窒化物系半導体の表面に設けられ、前記凹凸が設けられた前記窒化物系半導体の表面にはさらに透光性電極が設けられていることを特徴とする。

【0014】または、前記半導体発光素子は、平坦な表面を有する窒化物系半導体の上に設けられた透光性電極を備え、前記凹凸は、前記透光性電極の表面に設けられていることを特徴とする。

【0015】または、前記半導体発光素子は、平坦な表面を有する窒化物系半導体の上に設けられた透光性電極と、前記透光性電極の上に設けられ透光性を有する光取り出し層と、を備え、前記凹凸は、前記光取り出し層の表面に設けられていることを特徴とする。

【0016】また、前記透光性電極の下の前記窒化物系半導体は、前記透光性電極層との接触面の付近において、ドーパントが高い濃度で導入され、接触抵抗を大幅に低下させることができる。

【0017】また、前記透光性電極は、前記窒化物系半導体と接触して設けられた100nm以下の層厚の金属からなる層を有し、その上に堆積するITOの付着強度

を改善し接触抵抗を下げるができる。この金属層としては、NiまたはPtを用いることが望ましい。

【0018】一方、本発明の半導体発光素子の製造方法は、発光部を有する窒化物系半導体を形成する工程と、前記窒化物系半導体の表面に導電性を高めるドーパントを含有した金属層を堆積する工程と、前記ドーパントを前記窒化物系半導体に拡散させる工程と、前記ドーパントを含有した金属層を除去する工程と、前記窒化物系半導体の表面に電極を形成する工程と、を備えたことを特徴とし、電極の接触抵抗を大幅に低下させることができる。

【0019】ここで、前記金属層を堆積する前記工程の前に、前記窒化物系半導体の表面に凹凸を形成する工程をさらに備え、前記電極は、前記発光部から放出される光に対して透光性を有することを特徴とし、光の取り出し効率を大幅に改善することができる。

【0020】また、前記金属層として、前記窒化物系半導体の表面に堆積されマグネシウム(Mg)を含有した第1の層と、前記第1の層の上に堆積された金(Au)からなる第2の層を含むものとする、接触抵抗を効果的に低下させることができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下に図面を参照しつつ、本発明の実施の形態について説明する。図1は、本発明の半導体発光素子を表す斜視概念図である。すなわち、同図の半導体発光素子は、サファイア基板1の上にGaNバッファ層(図示せず)、n型GaN層2、InGaN発光層3、p型GaN層4が順次積層された構造を有する。また、InGaN発光層3およびp型GaN層4は選択的にエッチング除去されて、n型GaN層2が露出されている。p型GaN層4の上には、一部に電流阻止用の絶縁膜7が形成されている。そして、p型GaN層4と絶縁膜7の上には、p側透明電極13が形成され、その上にp側のボンディング・パッド6が選択的に積層されている。また、n型GaN層2の上にはn側電極5が形成されている。

【0022】本発明の特徴的な点のひとつは、p型GaN層4の表面に凹凸状の加工が施されている点にある。すなわち、図示した例においては、p型GaN層4の表面にシリンドリカル・レンズ状の複数の凸部9が形成されている。p型GaN層4の表面をこのように加工することにより、活性層3から放出された光の取り出し効率を改善することができる。

【0023】すなわち、図10に示した従来例のように光の取り出し面が平面であると、活性層3から放出された光のうちで、取り出し面に対して臨界角よりも大きい法線角度で斜めに入射した光は、全反射される。これに対して、本発明の発光素子においては、光取り出し面に対して斜めに入射した光も、入射した凹凸面との角度に応じて外部に通り返れることができるようになる。ま

た、全反射された光も、凹凸面において反射を繰り返す、その過程において、臨界角よりも小さい法線角度で凹凸部の表面に入射した時に、外部に通り抜けることができるようになる。

【0024】つまり、従来の平面状の光取り出し面の場合と比べて、凹凸面の場合には、臨界角である $21.9^\circ$ よりも小さい法線角で入射する確率が激増する。その結果として、活性層3から放出された光を外部に取り出すことのできる効率、すなわち外部量子効率を大幅に改善することができる。

【0025】また、本実施形態においては、p型Ga<sub>N</sub>層4の表面の凸状部は複数のシリンドリカル・レンズあるいはロッドレンズとしても作用する。従って、これらの凸状部の下方の活性層の線状部分から放出された光は、それぞれのシリンドリカル・レンズによって集光され、複数の線状のビームとして放出される。

【0026】一方、本発明による半導体発光素子のもうひとつの特徴点は、p型Ga<sub>N</sub>層4の表面付近にマグネシウム(Mg)が高い濃度で含有されていることである。すなわち、後に詳述するように、本発明においては、素子の製造工程において、p型Ga<sub>N</sub>層4の表面にマグネシウムを含む金属層を一旦堆積し、熱処理を施してマグネシウムをGa<sub>N</sub>層4の表面層に拡散させた後に、その金属層を除去して、p側透明電極13を形成する。このような独特のプロセスによって、p型Ga<sub>N</sub>層4の表面付近のキャリア濃度を上昇させ、透明電極13とのオーミック接触を確保することができる。その結果として、素子の動作電圧を低減させ、諸特性を改善することができる。

【0027】さらに、このようにマグネシウムをp型Ga<sub>N</sub>層4の表面層に高濃度にドーピングすることによって、p型Ga<sub>N</sub>層4の「面荒れ」を回避することもできる。すなわち、本発明においては、p型Ga<sub>N</sub>層4の表面に凹凸を設けるために、Ga<sub>N</sub>層4をある程度厚く形成する必要がある。しかし、p側電極とのオーミック接触を確保するためにp型ドーパントを高い濃度でドーピングしつつ、Ga<sub>N</sub>層4を厚く成長すると「面荒れ」が発生するという問題があった。このような「面荒れ」が発生すると、本発明のような凹凸の加工を施した後も、その表面の結晶の品質は良好でなく、諸特性が低下する。

【0028】これに対して、本発明によれば、成長後にマグネシウムを導入するので、p型Ga<sub>N</sub>層4の成長に際しては、ドーピング濃度をさほど高くする必要がない。従って、「面荒れ」を招くことなく、Ga<sub>N</sub>層4を厚く成長することが可能となる。

【0029】次に、本発明の発光素子の製造方法の具体例について説明する。

【0030】図2及び図3は、本発明の発光素子の要部製造方法を表す概略工程断面図である。すなわち、これ

らの図は、図1に示したA-A線で切断した断面の一部を表す概略断面図である。

【0031】まず、同図(a)に表したように、サファイア基板1の上に、図示しないGa<sub>N</sub>バッファ層、n型Ga<sub>N</sub>層2、InGa<sub>N</sub>発光層3、p型Ga<sub>N</sub>層4を順次結晶成長する。結晶成長法としては、例えば、MOCVD (metal-organic chemical vapor deposition) 法、ハイドライドCVD法、あるいはMBE (molecular beam epitaxy) などの方法を挙げることができる。

【0032】次に、図2(b)に表したように、レジストパターンを形成する。具体的には、p型Ga<sub>N</sub>層4の表面にレジストを塗布し、PEP (photo-engraving process) 法によりパターンニングして、複数の平行なストライプ状のレジストパターン30を形成する。レジストパターンの具体的な寸法は、活性層3から光取り出し面までの距離や、発光素子が使用される光学系において要求される光強度分布などに応じて適宜決定することが望ましい。具体的には、例えば、レジストパターンのストライプの幅及び間隔をそれぞれ数ミクロン程度とすることができる。

【0033】次に、図2(c)に表したように、レジストパターン30の形状を加工する。具体的には、熱処理を施すことにより、ストライプ状のレジストを軟化させて横断面が半円状の「かまぼこ形状」に変形させる。

【0034】次に、図2(d)に表したように、レジストパターン30の形状をp型Ga<sub>N</sub>層4に転写する。具体的には、レジストパターン30の上からRIE (reactive ion etching) やイオンミリング (ion milling) 等の方法によりエッチングする。すると、レジストパターン30が順次エッチングされ、さらに、その下のp型Ga<sub>N</sub>層4も順次エッチングされる。このようにして、p型Ga<sub>N</sub>層4の表面にレジストパターン30の断面形状に似た凹凸を形成することができる。

【0035】ここで、レジストパターン30の断面形状と、加工後のp型Ga<sub>N</sub>層4の表面凹凸の断面形状との関係は、エッチング速度の比率によって決定される。すなわち、レジストパターン30のエッチング速度に対して、p型Ga<sub>N</sub>層4のエッチング速度の方が速い場合には、p型Ga<sub>N</sub>層4の凹凸は、レジストパターンよりも強調される。一方、レジストパターン30のエッチング速度に対して、p型Ga<sub>N</sub>層4のエッチング速度の方が遅い場合には、p型Ga<sub>N</sub>層4の凹凸は、レジストパターンよりも緩和される。従って、p型Ga<sub>N</sub>層4の凹凸は、レジストパターン30の断面形状とエッチング選択比とを適宜調節することにより制御することができる。

【0036】次に、図3(a)に表したように、まず、凹凸形状を加工したp型Ga<sub>N</sub>層4の表面全体にMg (マグネシウム) 層40とAu (金) 層42を順次蒸着し、熱処理を施す。ここで、Mg層40の層厚は例えば10nm、Au層42の層厚は例えば100nmとする

ことができる。また、熱処理の温度を、 $300^{\circ}\text{C}$ 以上とすることにより良好な結果が得られる。例えば、 $750^{\circ}\text{C}$ で20秒間程度のフラッシュアニールを施すことが効果的である。この工程により、MgがGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4の表面層に拡散して、表面のキャリア濃度を十分に高くすることができる。ここで、Au（金）層42は、いわゆる「キャップ層」として作用する。すなわち、Mg層40の上にAu層42を設けることにより、Mg層40を保護し、熱処理の際にMgが蒸発することを防止して、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4へのMgの拡散を促進することができる。また、ここで行う熱処理は、RIEやイオン・ミリングなどのドライプロセスにより半導体層に与えられたダメージを軽減して結晶性を回復させることにも作用する。

【0037】ここで、Mg層とAu層の積層構造を堆積する代わりに、Mg層とIn（インジウム）層を積層しても良い。または、Mg層とIn層とAu層を積層しても良い。さらに、AuまたはInの少なくともいずれかにMgを含有させた合金層を堆積しても良い。Inを用いると、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4の表面付近に、MgとともにInも拡散し、局所的にInGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>の薄層が形成される。InGa<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>は、Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>と比較してバンドギャップが小さいため、p側電極とのオーミック接触をさらに良好することができる。

【0038】また、p型のドーパントとしては、Mgの他にも、各種のII族元素を用いることができると考えられる。例えば、Be（ベリリウム）、Hg（水銀）、Zn（亜鉛）、Cd（カドミウム）などを用いても良好な結果が得られる可能性がある。さらに、p型ドーパントとしては、C（炭素）などの各種の材料を用いることができる。

【0039】次に、図3（b）に表したように、蒸着したMg層40とAu層42をエッチングにより除去する。この状態で、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4の表面は、Mgが高い濃度でドーピングされている。このようにMg層40とAu層42を除去することにより、この後に形成する電極の「はがれ」を解消することができる。すなわち、本発明者の実験検討によれば、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4とp側電極との間にMg層が介在すると、p側電極が剥離しやすくなるという傾向が認められた。これに対して、本発明によれば、Mg層40を除去することにより、p側電極の剥離を解消することができる。同時に、これらの金属層を除去することによって、光取り出し面の透明性を確保し、発光強度を改善することもできる。

【0040】次に、図3（c）に表したように、n側電極5を形成する。具体的には、まず、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4と活性層3を部分的にエッチングして、n型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層2を露出させる。そして、熱CVD法によりSiO<sub>2</sub>膜7を堆積し、PEP法を用いてパターニングする。さらに、エッチングにより露出させたn型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層2の上にTi層5aとAu層5bを蒸着し、リフトオフによりパター

ニングして、 $800^{\circ}\text{C}$ で20秒間程度のフラッシュアニールを施すことにより、n型電極5を形成する。

【0041】次に、図3（d）に表したように、p側電極13を形成する。具体的には、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4の表面のSiO<sub>2</sub>膜7をPEP法によりパターニングして部分的に除去する。そして、凹凸加工されたp型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4の上に、透明金属電極として真空蒸着法により厚さ5nmのNi（ニッケル）層13aを堆積し、さらに、スパッタ法によりITO（indium tin oxide）透明電極13bを形成する。なお、Ni（ニッケル）層13aの代わりに、Pt（白金）層を用いても良い。このように、ITO層13bの下にNiやPtなどの金属層13aを設けるとITO層の付着強度を改善し、さらに接触抵抗も低下させることができる。

【0042】さらに、金（Au）などを堆積しPEP法によってパターニングすることによって、ITO透明電極13と接続されたボンディング・パッド6を形成する。

【0043】ここで、p型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層4の表面に残されたSiO<sub>2</sub>膜7は、ボンディング・パッド6の下部での発光を防いで、発光効率を改善する役割を有する。なお、n型Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>層2を部分的に露出させた後に形成したSiO<sub>2</sub>膜7は、図3（c）及び（d）に表したように、発光層3の側面が露出しているメサ側面にも形成されており、また、n側電極部分と透明電極とp側電極の重なり部分を除くp側電極の周囲にも形成されている。

【0044】図4は、このようにして得られた半導体発光素子の特性を表すグラフ図である。すなわち、同図（a）は電流－電圧特性、同図（b）は電流－光パワー特性をそれぞれ表す。また、これらの特性図においては、図10に表した従来の半導体発光素子の特性も併せて示した。

【0045】図4（a）の電流－電圧特性をみると、従来の素子の場合には、3ボルトにおいて動作電流は約1ミリアンペアであり、電圧を増加に伴う電流の立ち上がりは緩慢である。これに対して、本発明の素子の場合には、3ボルトにおいて5ミリアンペアが得られ、電圧の増加に伴って電流は急激に立ち上がっている。本発明の素子は、電流値が3.2ミリアンペアの時の電圧が約3.2ボルトと低く、従来の素子と比較して動作電圧を10%以上低下することができた。

【0046】一方、図4（b）の発光特性をみると、本発明の素子は、従来と比べて光出力が倍増していることが分かる。例えば、動作電流20ミリアンペアにおける光出力をみると、従来の素子では0.45ミリワットであるのに対して、本発明の素子では0.95ミリワットが得られている。このように、本発明によれば、光取り出し面に凹凸を設けることによって光の取り出し効率が向上し、従来の2倍以上の光出力が得られた。

【0047】また、本発明の発光素子の発光波長は、約

450ナノメートルであった。さらに、本発明の素子においては、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の表面のモフォロジは良好であり、比較的厚く成長したにもかかわらず、「面荒れ」が生ずることもなかった。さらに、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の表面に形成した透光性電極層13の付着強度も良好であり、剥離が生ずることもなかった。

【0048】以上詳述したように、本発明によれば、p側のオーミック接触が良好で、光の取り出し効率も高く、信頼性も良好な半導体発光素子を提供することができることが分かった。

【0049】次に、本発明の変形例について説明する。

【0050】図5は、本発明の第1の変形例を表す概念斜視図である。同図においては、図1乃至図3に関して前述した部分と同一の部分には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。本変形例においては、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の表面に、半円柱形状でなく、半球状の凸状部10が形成されている。このようにしても、光の取り出し効率すなわち、外部量子効率を改善することができる。

【0051】また、本変形例の凹凸形状は、図2に関して前述したプロセスと概略同様にして形成することができる。すなわち、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の上にレジストを円形のパターンに形成し、加熱軟化させてレンズ形状とした後にエッチングすることにより図5に表したような半球状の凸状部10を形成することができる。

【0052】本変形例においても、図1に関して前述したものと同様に、活性層3から放出された光を外部に取り出すことのできる確率、すなわち外部量子効率を大幅に改善することができる。

【0053】さらに、本変形例によれば、それぞれの半球状レンズの凸部の下から放出される光をそれぞれの半球状レンズにより集光して外部に放出することができる。

【0054】次に、本発明の第2の変形例について説明する。

【0055】図6は、本発明の第2の変形例を表す概念斜視図である。同図においても、図1乃至図3に関して前述した部分と同一の部分には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。本変形例においては、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の表面に、球状でなく、複数のメサストライプ状の凸状部11が形成されている。このようにしても、光の取り出し効率すなわち、外部量子効率を改善することができる。

【0056】また、本変形例の凹凸形状も、図2に関して前述したプロセスと概略同様にして形成することができる。すなわち、図2(b)に表したように、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の上にレジストをストライプ状に形成し、加熱軟化させずにエッチングすることにより図6に表したような形状の凹凸を形成することができる。

【0057】本変形例においても、図1に関して前述したものと同様に、活性層3から放出された光を外部に取り

出すことのできる確率、すなわち外部量子効率を大幅に改善することができる。

【0058】さらに、本変形例によれば、図2(c)に関して前述したようなレジストパターンの軟化工程が不要であり、製造が容易であるという利点も有する。

【0059】次に、本発明の第3の変形例について説明する。

【0060】図7は、本発明の第3の変形例を表す概念斜視図である。同図においても、図1乃至図3に関して前述した部分と同一の部分には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。本変形例においては、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の表面に、単一の半球レンズ状の凸状部12が形成されている。このようにしても、光の取り出し効率すなわち、外部量子効率を改善することができる。

【0061】本変形例の凹凸形状も、図2に関して前述したプロセスと概略同様にして形成することができる。すなわち、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の上にレジストを円形のパターンで厚く形成し、加熱軟化させることによって単一の半球状の形状に成形し、エッチングすることにより図7に表したようなレンズ形状を形成することができる。

【0062】本変形例においても、図1に関して前述したものと同様に、活性層3から放出された光を外部に取り出すことのできる確率、すなわち外部量子効率を大幅に改善することができる。

【0063】さらに、本変形例によれば、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の表面の凸部を単一のレンズ状としたことにより、高い集光効果が得られ、ファイバなどへの結合効率を改善することができる。

【0064】次に、本発明の第4の変形例について説明する。

【0065】図8は、本発明の第4の変形例を表す概念斜視図である。同図においても、図1乃至図3に関して前述した部分と同一の部分には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。本変形例においては、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の表面は平面であり、その上に堆積されたp側透明電極13の表面が凹凸状に加工されている。このようにしても、光の取り出し効率を改善することができる。

【0066】すなわち、透明電極13として多用されるITOの屈折率は、約2.0であり、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の屈折率2.67に対して近い。従って、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4と透明電極13の間では、全反射は殆ど生ずることがなく、光は通り抜けることができる。そして、透明電極13に入射した光は、図1に関して前述した場合と同様にその凹凸面において臨界角よりも小さい法線角度で入射する確率が高くなり、その結果として、光の取り出し効率を改善することができる。

【0067】さらに、本実施形態によれば、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の表面を加工する必要がないため、加工に伴って生じる損傷を解消することができる。例えば、p型Ga<sub>0.4</sub>N層4の表面を凹凸状に加工するために過度のプラズマ



や荷電粒子に曝すと、p型GaN層4の表面が変質し、p側電極とのオーミック接触が劣化するなどの問題が生ずることもある。これに対して、本実施形態によれば、p型GaN層4の表面を加工する必要がないので、オーミック接触を維持することが容易となる。

【0068】また、本変形例においては、p型GaN層4の表面に凹凸を形成する必要がないので、p型GaN層4をそれ程厚く成長する必要がない。

【0069】透明電極13の表面に設ける凹凸のパターンは、図示したものには限定されず、図1～図3に例示したようなパターンも同様に用いることができる。また、そのパターン寸法は、活性層3から放出される光の波長よりも大きくすることが望ましい。すなわち、図示した例においては、凹凸のストライプの幅や高さを500ナノメートル程度よりも大きくすることが望ましい。

【0070】一方で、ITOなどの透明電極は、数ミクロン程度まで厚く堆積することが困難であるので、凹凸のストライプの幅や高さを1ミクロン以下に形成する必要が生ずる場合もある。このような微細なパターンを形成する方法としては、例えば、「干渉露光法」がある。これは、光半導体素子の回折格子（グレーティング）を形成する際に用いられる方法であり、波長が異なる2つのレーザ光を合波し、ハーフミラーを介して2光束に分割し、それぞれの光束を対称に位置にある全反射ミラーでそれぞれ反射させて対象物に入射させることによって「干渉縞」を生じさせる方法である。このようにして得られた干渉縞により、レジストを露光することにより、微細なストライプ状パターンを形成することができる。

【0071】レーザ光としては、例えば、He-Cdレーザ（波長：325ナノメートル）とArレーザ（波長：351ナノメートル）を用いることができる。

【0072】また、このような微細パターンを形成する方法として、「電子ビーム露光法」も挙げることができる。これは、電子線に対して感光性を有する材料をマスクとして用い、電子ビームを走査することにより、所定のパターンを形成する方法である。

【0073】次に、本発明の第5の変形例について説明する。

【0074】図9は、本発明の第5の変形例を表す概念斜視図である。同図においても、図1乃至図3に関して前述した部分と同一の部分には、同一の符号を付して詳細な説明は省略する。本変形例においても、p型GaN層4の表面は平面であり、その上には、p側透明電極13が堆積され、さらにその上に透光性を有する光取り出し層20が設けられている。そして、光取り出し層20の表面が凹凸状に加工されている。このようにしても、光の取り出し効率を改善することができる。また、本変形例においても、p型GaN層4の表面に凹凸を形成する必要がないので、加工に伴う損傷を防ぎ、p型GaN層4をそれ程厚く成長する必要もない。なお、本変形例

の場合には、透光性電極層13とボンディング電極6とを接続させて導通を確保する。

【0075】透光性電極層13や光取り出し層20の材料としては、活性層3から放出される光に対して透光性を有し、且つp型GaN層4と近い屈折率を有することが望ましい。つまり、これらの層の屈折率がp型GaN層4と近ければ、層間での光の全反射を低減し、光の取り出し効率を高くすることができる。また、光取り出し層20の材料として、導電性を有するものを用いれば、電流を拡げることができる点でさらに良い。

【0076】透光性電極層13の材料としては、例えば、ITOを挙げることができる。また、光取り出し層20の材料としては、例えば、GaNと屈折率が近い樹脂などの有機材料や、無機材料を用いることができる。樹脂材料を用いる場合には、厚く形成することができるので、大きな凹凸も容易に形成することができ、凹凸の形状や大きさを任意に選択することが可能となる。樹脂材料としては、具体的には例えば、ポリカーボネイトを挙げることができる。すなわち、ポリカーボネイトの屈折率は約1.6程度で、GaNと比較的近い屈折率を有する。

【0077】また、光取り出し層20の材料としては、窒化シリコン（ $\text{Si}_3\text{N}_4$ ）を挙げることができる。すなわち、窒化シリコンの屈折率は、約2.0であり、GaNの屈折率と近いために、活性層3から放出された光が層間において全反射されることを防止することができる。また、その他にも、例えば、 $\text{In}_2\text{O}_3$ （屈折率は約2.0）、 $\text{Nd}_2\text{O}_3$ （屈折率は約2.0）、 $\text{Sb}_2\text{O}_3$ （屈折率は約2.04）、 $\text{ZrO}_2$ （屈折率は約2.1）、 $\text{CeO}_2$ （屈折率は約2.2）、 $\text{TiO}_2$ （屈折率は約2.2～2.7）、 $\text{ZnS}$ （屈折率は約2.35）、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ （屈折率は約2.45）などを用いても同様に良好な結果を得ることができる。さらに、光取り出し層20の材料としては、導電性を有する金属酸化物を用いても良い。

【0078】以上、具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、GaN層の表面に設ける凹凸形状は、種々の形状が考えられ、規則的あるいは不規則的な凹凸形状であっても同様の作用効果を得ることができる。

【0079】また、発光素子の構造は、当業者が適宜変更して同様に実施することができる。すなわち、必要に応じて、素子の積層構造や材料の組成を最適化することができ、例えば、活性層を多重量子井戸型の構造とし、活性層の上下にクラッド層を設けたりしても良い。

【0080】また、基板として用いるものはサファイアに限定されず、その他にも、例えば、スピネル、 $\text{MgO}$ 、 $\text{ScAlMgO}_4$ 、 $\text{LaSrGaO}_4$ 、 $(\text{LaSr})(\text{AlTa})\text{O}_3$ などの絶縁性基板や、 $\text{SiC}$ 、 $\text{Si}$ 、

GaAs、GaNなどの導電性基板も同様に用いてそれぞれの効果を得ることができる。ここで、ScAlMgO<sub>4</sub>基板の場合には、(0001)面、(LaSr)(AlTa)O<sub>3</sub>基板の場合には(111)面を用いることが望ましい。特に、GaNについては、例えば、サファイア基板の上にハイドライド気相成長法などにより厚く成長したGaN層をサファイア基板から剥離してGaN基板として用いることができる。

【0081】また、GaNのような導電性の基板を用いた場合には、発光素子のn側電極を基板の裏面側に設けることもできる。

【0082】

【発明の効果】本発明は、以上説明したような形態で実施され、以下に説明する効果を奏する。

【0083】まず、本発明によれば、半導体発光素子において、光の取り出し面を凹凸状に加工することにより、活性層から放出された光の取り出し効率すなわち、外部量子効率を大幅に改善することができる。

【0084】また、本発明によれば、p型GaN層の表面付近にマグネシウム(Mg)などのp型ドーパントを高い濃度で含有させることにより、p側電極とのオーミック接触を確保し、素子の動作電圧を低減させて、発熱を抑制し、信頼性も改善することができる。

【0085】さらに、本発明によれば、マグネシウムなどのp型ドーパントを導入した後にその金属層をp型GaN層の表面から除去することによって、p側電極の剥離を解消することができる。つまり、電極の剥離に伴う特性の劣化を解消し、発光素子の信頼性を向上させることができる。同時に、これらの金属層を除去することによって、光取り出し面の透明性を確保し、発光強度を改善することもできる。

【0086】また、本発明によれば、マグネシウムなどの金属層を設けてp型ドーパントを拡散により高濃度にドーピングすることによって、p型GaN層4の「面荒れ」を回避することもできる。すなわち、p型GaN層の表面に凹凸を設けるためには、GaN層をある程度厚く形成する必要があるが、p型ドーパントを高い濃度でドーピングしてGaN層を厚く成長すると「面荒れ」が発生するという問題がある。これに対して、本発明によれば、成長後にマグネシウムを導入するので、p型GaN層の成長に際しては、ドーピング濃度をさほど高くする必要がない。従って、「面荒れ」を招くことなく、GaN層4を厚く成長することが可能となる。

【0087】以上詳述したように、本発明によれば、外部量子効率が高く、動作電圧が低く、且つ信頼性も改善された半導体発光素子を提供することが可能となり産業上のメリットは多大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の半導体発光素子を表す概念斜視図である。

【図2】本発明の発光素子の要部製造方法を表す概略工程断面図である。

【図3】本発明の発光素子の要部製造方法を表す概略工程断面図である。

【図4】本発明の半導体発光素子の特性を表すグラフ図である。すなわち、同図(a)は電流-電圧特性、同図(b)は電流-光パワー特性をそれぞれ表す。

【図5】本発明の第1の変形例を表す概念斜視図である。

【図6】本発明の第2の変形例を表す概念斜視図である。

【図7】本発明の第3の変形例を表す概念斜視図である。

【図8】本発明の第4の変形例を表す概念斜視図である。

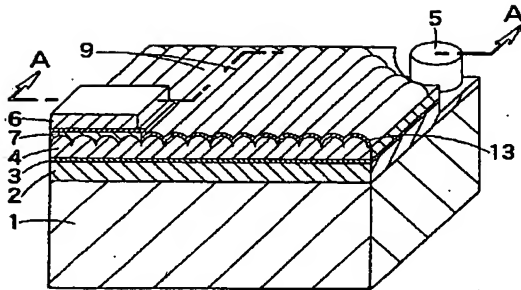
【図9】本発明の第5の変形例を表す概念斜視図である。

【図10】従来の窒化物系半導体LEDの断面構造を表す概念図である。

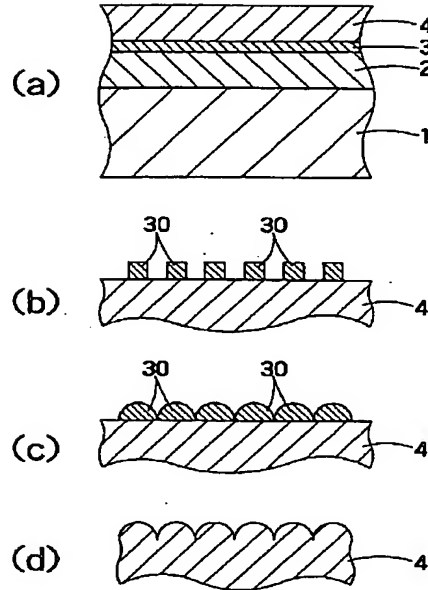
【符号の説明】

- 1、101 サファイア基板
- 2、102 n型GaN層
- 3、103 InGaN発光層
- 4、104 p型GaN層
- 5、105 n側電極
- 6、106 ボンディング・パッド
- 7、107 電流阻止層
- 9 シリンドリカルレンズ
- 10 半球レンズ
- 11 メサストライフ
- 12 半球レンズ
- 13、113 p側透光性電極
- 20 光取り出し層
- 40 マグネシウム層
- 42 金属層

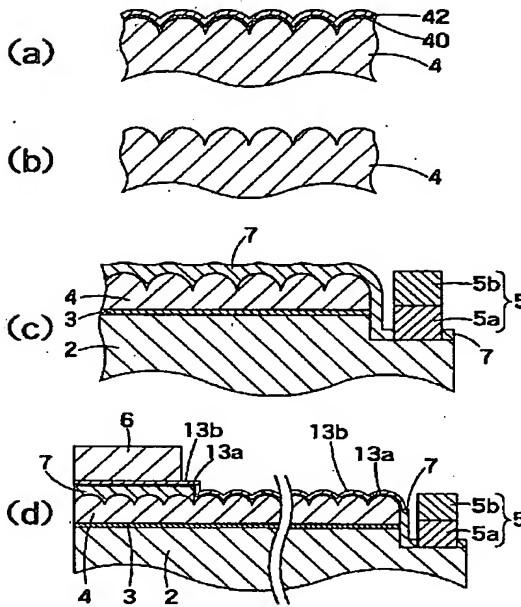
【図1】



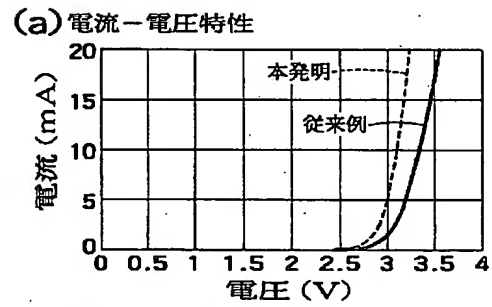
【図2】



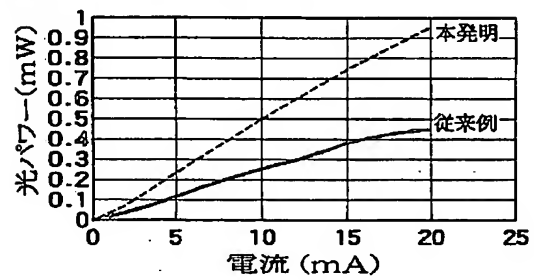
【図3】



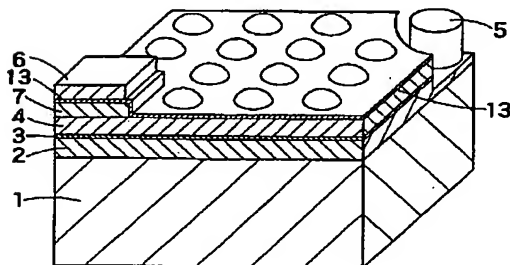
【図4】



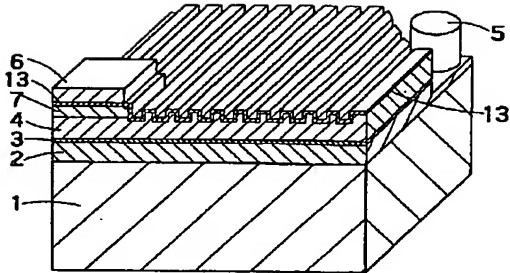
(b) 電流-光パワー特性



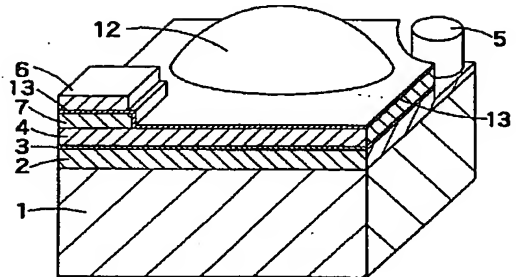
【図5】



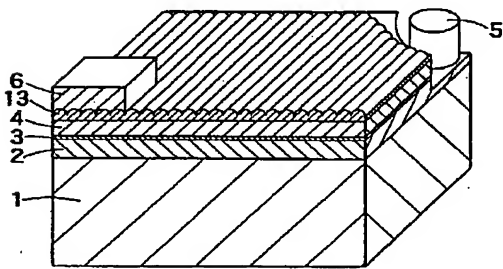
【図6】



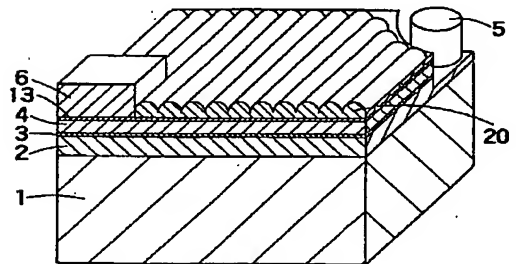
【図7】



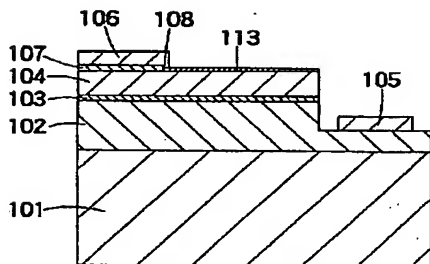
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 野 崎 千 晴  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会  
社東芝研究開発センター内

Fターム(参考) 5F041 AA03 CA34 CA40 CA49 CA57  
CA65 CA72 CA74 CA83 CA88  
CA93 CA98